

# PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 11-215707  
(43)Date of publication of application : 06.08.1999

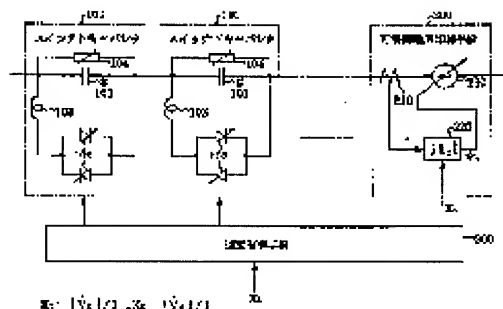
(51)Int.Cl. H02J 3/18  
G05F 1/70

(21)Application number : 10-008893 (71)Applicant : MITSUBISHI ELECTRIC CORP  
(22)Date of filing : 20.01.1998 (72)Inventor : AKAMATSU MASAHIKO  
MURAKAMI SHOTARO  
HOSOKAWA YASUHIKO

## (54) COMPENSATING AND CONTROLLING DEVICE FOR POWER SYSTEM

### (57)Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To obtain continuous controllability on total impedance and reduce a portion of the capacitance of equipment required for continuous control.  
**SOLUTION:** This compensating and controlling device is provided with one or more switched capacitors 100 placed in a transmission line in series, a controllable voltage applying means 200 placed in the transmission line in series, and a linkage control means 300 which on/off-controls the switched capacitors 100 and furthermore controls the voltage generated in the controllable voltage applying means 200 into a sawtooth shape in linkage with the on/off control, thereby exercising control so that the sum of the step voltage of the switched capacitors 100 and the sawtooth voltage of the controllable voltage applying means 200 becomes linear in form.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 16.07.2001  
[Date of sending the examiner's decision of rejection]  
[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]  
[Date of final disposal for application]  
[Patent number] 3450690  
[Date of registration] 11.07.2003  
[Number of appeal against examiner's decision of rejection]  
[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]  
[Date of extinction of right]

(19)日本国特許庁 ( J P )

(12) 公 開 特 許 公 報 ( A )

(11)特許出願公開番号

特開平11-215707

(43)公開日 平成11年(1999) 8 月 6 日

(51)Int.Cl.<sup>6</sup>

H 0 2 J 3/18

G 0 5 F 1/70

識別記号

F I

H 0 2 J 3/18

G 0 5 F 1/70

A

C

L

K

Q

審査請求 未請求 請求項の数10 O L (全 12 頁)

(21)出願番号

特願平10-8893

(22)出願日

平成10年(1998) 1 月20日

(71)出願人 000006013

三菱電機株式会社

東京都千代田区丸の内二丁目2番3号

(72)発明者 赤松 昌彦

東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三

菱電機株式会社内

(72)発明者 村上 昇太郎

東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三

菱電機株式会社内

(72)発明者 細川 靖彦

東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三

菱電機株式会社内

(74)代理人 弁理士 曾我 道照 (外6名)

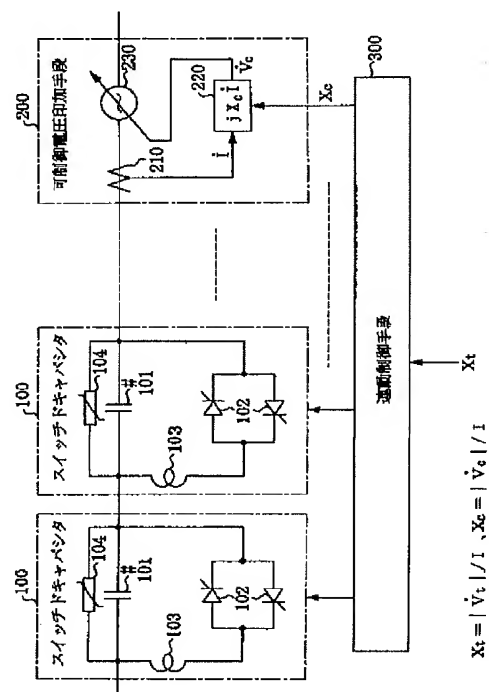
(54)【発明の名称】 電力系統の補償制御装置

(57)【要約】

【課題】 トータルインピーダンスの連続制御性を実現しようとする、機器容量が増大するという課題があった。

【解決手段】 この発明に係る電力系統の補償制御装置は、送電線路に直列に挿入された単数又は複数のスイッチドキャパシタ100と、前記送電線路に直列に挿入された可制御電圧印加手段200と、前記スイッチドキャパシタをON、OFF制御するとともに、前記ON、OFF制御に連動して前記可制御電圧印加手段の発生電圧を鋸歯状に制御することにより、前記スイッチドキャパシタの階段状電圧と前記可制御電圧印加手段の鋸歯状電圧との和電圧が線形になるように制御する連動制御手段300とを備えたものである。

【効果】 トータルインピーダンスの連続制御性を実現することができると共に、連続制御に必要な部分の機器容量を低減することができる。



## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】 送電線路に直列に挿入されたスイッチドキャパシタと、  
前記送電線路に直列に挿入された可制御電圧印加手段と、  
前記スイッチドキャパシタを ON、OFF 制御するとともに、前記 ON、OFF 制御に連動して前記可制御電圧印加手段の発生電圧を鋸歯状に制御することにより、前記スイッチドキャパシタの階段状電圧と前記可制御電圧印加手段の鋸歯状電圧との和電圧が線形になるように制御する連動制御手段とを備えた電力系統の補償制御装置。

【請求項 2】 前記スイッチドキャパシタは、前記送電線路に直列に挿入されたキャパシタと、前記キャパシタに並列接続され、前記連動制御手段によって ON、OFF 制御されるサイリスタスイッチと、前記キャパシタの短絡電流を制限するリアクトルと、前記キャパシタに並列接続されたアレスタとを有する請求項 1 記載の電力系統の補償制御装置。

【請求項 3】 前記可制御電圧印加手段は、前記送電線路の電流ベクトルを検出する検出手段と、所望リアクタンスに基づいて前記電流ベクトルに直交する電圧指令を発生する制御手段と、前記電圧指令に比例した電圧を従属して発生する可制御電源とを有する請求項 2 記載の電力系統の補償制御装置。

【請求項 4】 前記可制御電源は、前記送電線路の電圧を検出する電圧変成器と、前記検出電圧の位相を検出する位相検出器とを持ち、前記検出手段は、前記送電線路の電流を検出する電流変成器と、前記位相検出器の検出位相及び固定座標値である前記電流変成器の検出電流から同期回転座標値である電流ベクトルへ変換する座標変換器とを持つ請求項 3 記載の電力系統の補償制御装置。

【請求項 5】 前記可制御電源は、さらに、前記電圧指令の偏角を演算して出力する位相指令手段と、前記偏角及び前記位相検出器の検出位相を加算して交流電圧の発生位相を出力する加算器と、前記電圧指令の絶対値を演算して出力する直流電圧指令手段と、前記電圧指令の絶対値に基づいて直流電圧の振幅を調整する直流電圧調整器と、前記加算器の出力及び前記直流電圧調整器の出力に基づいて発生する交流電圧を変圧器を介して前記送電線路に印加する振幅変調式電力変換器とを含む請求項 4 記載の電力系統の補償制御装置。

【請求項 6】 前記可制御電源は、さらに、電力変換器の直流電圧とその指令値との比較に基づい

て、発生すべき交流電圧の位相を微少調整する偏角を出力する直流電圧制御手段と、前記制御手段の電圧指令及び前記直流電圧制御手段が出力する偏角に基づいて第 2 の電圧指令を出力するベクトル回転手段と、

前記位相検出器の検出位相及び前記ベクトル回転手段の第 2 の電圧指令に基づいて三相交流電圧指令を出力する座標変換手段と、

前記座標変換手段の三相交流電圧指令に基づいて発生する交流電圧を変圧器を介して前記送電線路に印加するパルス幅変調式電力変換器とを含む請求項 4 記載の電力系統の補償制御装置。

【請求項 7】 前記可制御電源は、前記送電線路の電圧を検出する電圧変成器と、前記検出電圧の位相を検出する位相検出器と、前記位相検出器の検出位相と巻線形交流機の機械的回転角の合成手段と、

前記交流機の二次電流を検出する検出手段と、前記検出手段の二次電流を同期回転座標の二次電流に変換する座標変換手段と、

前記送電線路電流及び前記交流機の一次電流を検出する単数又は複数の電流変成器と、

前記位相検出器の検出位相及び固定座標値である前記電流変成器の検出電流から同期回転座標値である一次電流ベクトルへ変換する座標変換器と、

所望リアクタンスに基づいて前記一次電流ベクトルに直交する一次電圧指令を演算する制御手段と、

前記一次電流ベクトル及び一次電圧指令から二次電流指令を演算する演算手段と、

前記座標変換手段の二次電流及び前記演算手段の二次電流指令の比較に基づいて前記交流機の二次巻線の励磁電源をフィードバック制御する電流制御手段とを有し、前記巻線形交流機は、前記励磁電源に基づいて制御されて発生する交流電圧を変圧器を介して前記送電線路に印加する請求項 2 記載の電力系統の補償制御装置。

【請求項 8】 送電線路に直列に挿入されたスイッチドキャパシタと、

前記送電線路に直列に挿入されたスイッチドリアクタと、

前記送電線路に直列に挿入された可制御電圧印加手段と、

前記スイッチドキャパシタ及び前記スイッチドリアクタを ON、OFF 制御するとともに、前記 ON、OFF 制御に連動して前記可制御電圧印加手段の発生電圧を鋸歯状に制御することにより、前記スイッチドキャパシタ及び前記スイッチドリアクタの階段状電圧と前記可制御電圧印加手段の鋸歯状電圧との和電圧が線形になるように制御する連動制御手段とを備えた電力系統の補償制御装置。

【請求項 9】 前記スイッチドキャパシタは、

前記送電線路に直列に挿入されたキャパシタと、前記キャパシタに並列接続され、前記連動制御手段によって ON、OFF 制御されるサイリスタスイッチと、前記キャパシタの短絡電流を制限するリアクトルと、前記キャパシタに並列接続されたアレスタとを有する請求項 8 記載の電力系統の補償制御装置。

【請求項 10】 前記スイッチドリアクタは、前記送電線路に直列に挿入されたリアクトルと、前記リアクトルに並列接続され、前記連動制御手段によって ON、OFF 制御されるサイリスタスイッチと、前記リアクトルに並列接続されたアレスタと、前記サイリスタスイッチへのアレスタ電流の転流速度を抑制するアノードリアクトルとを有する請求項 9 記載の電力系統の補償制御装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】この発明は、電力系統のリアクタンスの補償又はリアクタンスの制御をしたり、潮流の制御又は安定化制御をしたりする電力系統の補償制御装置の改良に関するものである。

【0002】

【従来の技術】従来の電力系統の補償制御装置について図 8 を参照しながら説明する。図 8 は、例えば、東京で 1995 年 5 月 22 日～24 日に開催された電力分野に関する C I G R E シンポジウムで発表された論文番号 530-02 に示されたスイッチドキャパシタと、同シンポジウムで発表された論文番号 210-06 に示された C S C (Controlled Series Compensator) とを組み合わせた従来の電力系統の補償制御装置を示す図である。

【0003】前者の論文の Fig. 1 には、複数の直列キャパシタをそれぞれに並列接続されたサイリスタスイッチにより ON、OFF し、線路電流に対して作用するキャパシティブリアクタンスを切り変えるためのスイッチドキャパシタが示されている。

【0004】後者の論文の Fig. 4. 3-1 には、固定直列キャパシタと、このキャパシタにサイリスタ制御されるリアクトルが並列接続され、サイリスタの通電角を連続制御してキャパシタとの合成リアクタンスを連続制御する C S C が示されている。

【0005】図 8 において、スイッチドキャパシタ 100 は、キャパシタ 101 と、サイリスタスイッチ 102 と、キャパシタ短絡電流制限リアクトル 103 と、アレスタ 104 とを有する。また、C S C 500 は、固定キャパシタ 501 と、通電角制御サイリスタ 502 と、通電角制御されるリアクトル 503 と、アレスタ 504 とを有する。

【0006】スイッチドキャパシタ 100 により、ステップ的にキャパシティブリアクタンスを変え、C S C 500 により、連続的にキャパシティブリアクタンスを変え得る。これらの組み合わせにより、連続的にトータル

キャパシティブリアクタンスが変え得る。この可変リアクタンス機能により、送電線路のインピーダンス補償、直列補償による無効電力補償とその制御が実現できる。また、これらの制御を用いて電力系統の安定化制御、潮流調整、線路インピーダンス調整、両端間位相差調整などが実現できる。

【0007】ところが、連続制御機能を実現している C S C 500 には、次の様な問題がある。C S C 500 のキャパシティブリアクタンスが最小の状態では、サイリスタ 502 が非通電である。このときの回路図を図 9 (a) に示す。

【0008】このときの C S C 500 のキャパシティブリアクタンスは、キャパシタ 501 の固定値  $X_{c0}$  になり、線路電流  $I$  の全てが固定キャパシタ 501 に流れ、サイリスタ 502 及びリアクトル 503 には電流が流れない。

【0009】つぎに、サイリスタ 502 の通電角を広げて行くと、リアクトル電流が流れる。このリアクトル電流がキャパシタ 501 の電流と逆位相になるので、リアクトル電流の極性を逆方向に取ると、リアクトル電流の基本波成分は線路電流と同相で、このリアクトル電流と線路電流との和がキャパシタ 501 にながれ、キャパシタ 501 の電圧が上昇する。

【0010】即ち、サイリスタ制御されたリアクトル 503 のサセプタンスとキャパシタ 501 のサセプタンスが打ち消し合い、合成キャパシティブリアクタンスが増加する。

【0011】この結果、サイリスタ 502 の通電角  $\alpha$  と合成キャパシティブリアクタンス  $X_c$  との関係は、図 9 (c) の曲線の様に変化する。今、最大通電角が  $180$  度の場合について見ると、合成キャパシティブリアクタンス  $X_c$  が  $K X_{c0}$  になる。すなわち、最小値の  $K$  倍になる。この状態における回路を図 9 (b) に示す。ここに、 $K X_{c0} = 1 / \{ (1 / X_{c0}) - (1 / X_L) \}$  で、 $X_L$  はリアクトル 503 のリアクタンスである。したがって、キャパシティブリアクタンスを  $X_{c0}$  から  $K X_{c0}$  までの範囲で制御するのに必要なリアクトル 503 のリアクタンスは  $X_L = K X_{c0} / (K - 1)$  になる。

【0012】

【発明が解決しようとする課題】上述したような従来の電力系統の補償制御装置では、上記状態において、C S C 500 のキャパシタ 501 の電圧は  $K$  倍になり、このときのキャパシタ 501 の VA 容量は図 9 (a) に示す状態の VA 容量  $Q_{c0}$  に比べ  $K$  の 2 乗倍になる。また、リアクトル 503 の VA 容量は  $(K - 1) K Q_{c0}$  になる。しかし、合成されたキャパシティブリアクタンスは  $K X_{c0}$  であるから、合成キャパシティブ無効電力は  $K Q_{c0}$  にすぎない。すなわち、線路に有効に働く無効電力を  $K$  倍にするために、 $K$  の 2 乗倍のキャパシタ 501

と  $K(K-1)$  倍のリアクトル 503 が必要になるという問題点があった。

【0013】この発明は、前述した問題点を解決するためになされたもので、スイッチドキャパシタを用いて連続制御性を実現すると共に、連続制御に必要な部分の機器容量を低減することができる電力系統の補償制御装置を得ることを目的とする。

#### 【0014】

【課題を解決するための手段】この発明に係る電力系統の補償制御装置は、送電線路に直列に挿入されたスイッチドキャパシタと、前記送電線路に直列に挿入された可制御電圧印加手段と、前記スイッチドキャパシタを ON、OFF 制御するとともに、前記 ON、OFF 制御に連動して前記可制御電圧印加手段の発生電圧を鋸歯状に制御することにより、前記スイッチドキャパシタの階段状電圧と前記可制御電圧印加手段の鋸歯状電圧との和電圧が線形になるように制御する連動制御手段とを備えたものである。

【0015】また、この発明に係る電力系統の補償制御装置は、前記スイッチドキャパシタが、前記送電線路に直列に挿入されたキャパシタと、前記キャパシタに並列接続され、前記連動制御手段によって ON、OFF 制御されるサイリスタスイッチと、前記キャパシタの短絡電流を制限するリアクトルと、前記キャパシタに並列接続されたアレスタとを有するものである。

【0016】また、この発明に係る電力系統の補償制御装置は、前記可制御電圧印加手段が、前記送電線路の電流ベクトルを検出する検出手段と、所望リアクタンスに基づいて前記電流ベクトルに直交する電圧指令を発生する制御手段と、前記電圧指令に比例した電圧を従属して発生する可制御電源とを有するものである。

【0017】また、この発明に係る電力系統の補償制御装置は、前記可制御電源が、前記送電線路の電圧を検出する電圧変成器と、前記検出電圧の位相を検出する位相検出器とを持ち、前記検出手段が、前記送電線路の電流を検出する電流変成器と、前記位相検出器の検出位相及び固定座標値である前記電流変成器の検出電流から同期回転座標値である電流ベクトルへ変換する座標変換器とを持つものである。

【0018】また、この発明に係る電力系統の補償制御装置は、前記可制御電源が、さらに、前記電圧指令の偏角を演算して出力する位相指令手段と、前記偏角及び前記位相検出器の検出位相を加算して交流電圧の発生位相を出力する加算器と、前記電圧指令の絶対値を演算して出力する直流電圧指令手段と、前記電圧指令の絶対値に基づいて直流電圧の振幅を調整する直流電圧調整器と、前記加算器の出力及び前記直流電圧調整器の出力に基づいて発生する交流電圧を変圧器を介して前記送電線路に印加する振幅変調式電力変換器とを含むものである。

【0019】また、この発明に係る電力系統の補償制御

装置は、前記可制御電源が、さらに、電力変換器の直流電圧とその指令値との比較に基づいて、発生すべき交流電圧の位相を微少調整する偏角を出力する直流電圧制御手段と、前記制御手段の電圧指令及び前記直流電圧制御手段が出力する偏角に基づいて第 2 の電圧指令を出力するベクトル回転手段と、前記位相検出器の検出位相及び前記ベクトル回転手段の第 2 の電圧指令に基づいて三相交流電圧指令を出力する座標変換手段と、前記座標変換手段の三相交流電圧指令に基づいて発生する交流電圧を変圧器を介して前記送電線路に印加するパルス幅変調式電力変換器とを含むものである。

【0020】さらに、この発明に係る電力系統の補償制御装置は、前記可制御電源が、前記送電線路の電圧を検出する電圧変成器と、前記検出電圧の位相を検出する位相検出器と、前記位相検出器の検出位相と巻線形交流機の機械的回転角の合成手段と、前記交流機の二次電流を検出する検出手段と、前記検出手段の二次電流を同期回転座標の二次電流に変換する座標変換手段と、前記送電線路電流及び前記交流機の一次電流を検出する単数又は複数の電流変成器と、前記位相検出器の検出位相及び固定座標値である前記電流変成器の検出電流から同期回転座標値である一次電流ベクトルへ変換する座標変換器と、所望リアクタンスに基づいて前記一次電流ベクトルに直交する一次電圧指令を演算する制御手段と、前記一次電流ベクトル及び一次電圧指令から二次電流指令を演算する演算手段と、前記座標変換手段の二次電流及び前記演算手段の二次電流指令の比較に基づいて前記交流機の二次巻線の励磁電源をフィードバック制御する電流制御手段とを有し、前記巻線形交流機が、前記励磁電源に基づいて制御されて発生する交流電圧を変圧器を介して前記送電線路に印加するものである。

【0021】この発明に係る電力系統の補償制御装置は、送電線路に直列に挿入されたスイッチドキャパシタと、前記送電線路に直列に挿入されたスイッチドリアクタと、前記送電線路に直列に挿入された可制御電圧印加手段と、前記スイッチドキャパシタ及び前記スイッチドリアクタを ON、OFF 制御するとともに、前記 ON、OFF 制御に連動して前記可制御電圧印加手段の発生電圧を鋸歯状に制御することにより、前記スイッチドキャパシタ及び前記スイッチドリアクタの階段状電圧と前記可制御電圧印加手段の鋸歯状電圧との和電圧が線形になるように制御する連動制御手段とを備えたものである。

【0022】また、この発明に係る電力系統の補償制御装置は、前記スイッチドリアクタを備えた電力系統の補償制御装置において、前記スイッチドキャパシタが、前記送電線路に直列に挿入されたキャパシタと、前記キャパシタに並列接続され、前記連動制御手段によって ON、OFF 制御されるサイリスタスイッチと、前記キャパシタの短絡電流を制限するリアクトルと、前記キャパシタに並列接続されたアレスタとを有するものである。

【0023】さらに、この発明に係る電力系統の補償制御装置は、前記スイッチドリアクタが、前記送電線路に直列に挿入されたリアクトルと、前記リアクトルに並列接続され、前記連動制御手段によってON、OFF制御されるサイリスタスイッチと、前記リアクトルに並列接続されたアレスタと、前記サイリスタスイッチへのアレスタ電流の転流速度を抑制するアノードリアクトルとを有するものである。

#### 【0024】

【発明の実施の形態】実施の形態1. この発明の実施の形態1に係る電力系統の補償制御装置について図1、図2及び図3を参照しながら説明する。図1は、この発明の実施の形態1に係る電力系統の補償制御装置の構成を示す図である。また、図3は、この実施の形態1に係る電力系統の補償制御装置の可制御電圧印加手段の詳細な構成を示す図である。なお、各図中、同一符号は同一又は相当部分を示す。

【0025】図1において、100はスイッチドキャパシタ、200は可制御電圧印加手段、300は連動制御手段である。

【0026】また、同図において、可制御電圧印加手段200は、送電線路の電流ベクトルを検出するための検出手段210と、電流ベクトルに直交する電圧ベクトルを発生させる制御手段220と、従属制御される電源で静止形電力変換器や巻線形交流機などの可制御電源230とを有する。

【0027】図3において、211は電流変成器、212は固定座標値から同期回転座標値へ変換する座標変換器である。また、220は電圧ベクトルを発生する制御手段である。

【0028】また、同図において、231は電圧変成器、232は位相検出器（PLL：Phase Locked Loop）、233は交流電圧の発生位相を指令する位相指令手段、234は加算器である。さらに、235は直流電圧指令手段、236は直流電圧調整器、237は直流キャパシタ、238は多相の静止形電力変換器である振幅変調（PAM）式電力変換器、239は一次巻線239a及び二次巻線239bからなる変圧器、240はサイリスタスイッチである。

【0029】つぎに、この実施の形態1の動作について図2を参照しながら説明する。図2は、この実施の形態1に係るキャパシティブリアクタンス $X_{step}$ と所望トータルキャパシティブリアクタンス $X_t$ との関係、可制御キャパシティブリアクタンス $X_c$ とトータルキャパシティブリアクタンス $X_t$ との関係を示す図である。スイッチドキャパシタ100は、従来のようにキャパシタ101の作用をサイリスタスイッチ102によりON、OFF制御する。

【0030】可制御電圧印加手段200において、検出手段210は電流ベクトル $I$ を出力し、これを受けて制

御手段220は電流ベクトル $I$ に直交する電圧指令 $V_c$ を出力する。この時、所望の可制御キャパシティブリアクタンスを $X_c$ とすると、直交演算 $V_c = j X_c I$ により電圧指令 $V_c$ を決めることができる。なお、「 $I$ 」、「 $V_c$ 」はベクトル値である。

【0031】可制御電源230は、上記電圧指令 $V_c$ に比例した電圧を従属して発生する。この結果、制御手段220の電圧指令 $V_c$ をその電流 $I$ で除した等価インピーダンスを $X_c$ にできる。しかも、その値 $X_c$ は正負に渡り任意に指令できる。

【0032】単数又は複数のスイッチドキャパシタ100のリアクタンスがサイリスタスイッチ102のON、OFFでステップ的に変化するのに対し、連動制御手段300はトータルキャパシティブリアクタンスが飛躍しないように、つまり連続するように制御する。

【0033】この関係を図2に示す。同図（a）はスイッチドキャパシタ100のON、OFFにより得られるキャパシティブリアクタンス $X_{step}$ と、所望トータルキャパシティブリアクタンス $X_t$ との関係を示す。すなわち、全部のスイッチドキャパシタ100をONにすればキャパシティブリアクタンス $X_{step}$ は零、1段目のスイッチドキャパシタ100だけをOFFにすればキャパシティブリアクタンス $X_{step}$ は1ステップだけ上昇する。

【0034】他方、可制御キャパシティブリアクタンス $X_c$ と、トータルキャパシティブリアクタンス $X_t$ との関係は同図（b）に示す。連動制御手段300は、可制御キャパシティブリアクタンス $X_c$ を正負に鋸歯状に変化させ、キャパシティブリアクタンス $X_{step}$ がステップ状に変化するとき、同じステップ幅 $\Delta X$ だけ変化させ、かつ変化の方向が逆となるよう変化させる。つまり、同図（a）の階段状の実線の値と、同図（b）の鋸歯状変化値との和を、同図（a）の一点鎖線のように連続させるようにする。なお、スイッチドキャパシタ100のサイリスタスイッチの制御は、作動レベルが異なる複数のコンパレータにより実現でき、合成リアクタンス $X_{step}$ を階段状に変化させ得る。また、可制御キャパシティブリアクタンス $X_c$ の指令は、鋸歯状関数発生器により実現できる。この例として、上記複数のコンパレータ出力の和で表される階段関数と指令 $X_t$ との差をとれば、鋸歯状関数が得られる。

【0035】前記の方法により、トータルキャパシティブリアクタンス $X_t$ の指令に対して、連動制御手段300は、スイッチドキャパシタ群のON、OFFを決めると共に、連続制御分の可制御キャパシティブリアクタンス $X_c$ を決め、連続変化するトータルキャパシティブリアクタンス $X_t$ を実現させ得る。さらに、トータルキャパシティブリアクタンス $X_t$ を連続変化させるのに必要な可制御キャパシティブリアクタンス $X_c$ の振幅は、スイッチドキャパシタ100のステップ幅 $\Delta X$ の $1/2$ で

済む。I の 2 乗と  $\Delta X$  の積が VA 容量  $Q_{co}$  であるのに対して、 $X_c/2$  に加わる電圧は  $V_{co}/2$  になっているから、可制御電源 230 の VA 容量は  $Q_{co}/2$  で済むことになる。すなわち、連続制御性の実現に要する機器の VA 容量が前記従来例に比べて格段に低減できる効果がある。

【0036】次に、可制御電圧印加手段 200 の詳細な動作は以下の通りである。電力系統の事故時に、線路に過電流が流れるとき、サイリスタスイッチ 240 を導通させて過電流が電力変換器 238 に浸入するのを防止する。

【0037】座標変換器 212 は、電流変成器 211 によって検出された三相電流  $I_a$ 、 $I_b$ 、 $I_c$  と、位相検出器 232 によって検出された位相  $\theta$  とより、電流ベクトル  $I = (I_p, I_q)$  を検出する。制御手段 220 は、可制御キャパシティブリアクタンス  $X_c$  と、電流ベクトル  $I$  とより  $j X_c I$  の演算を行い電圧指令  $V_c = (V_p, V_q)$  を出力する。

【0038】直流電圧指令手段 235 は、電圧指令  $V_c$  の絶対値 ( $V_p$ 、 $V_q$  のそれぞれの二乗の和の平方根) を計算して直流電圧調整器 236 に指令する。この直流電圧調整器 236 は、電力変換器 238 の直流電圧ひいては交流出力電圧の振幅を制御する。

【0039】一方、位相指令手段 233 は、電圧指令ベクトル  $V_c$  の偏角  $\delta$  ( $(V_q/V_p)$  の逆正接) を計算して出力する。加算器 234 は、位相検出器 232 によって検出された基準位相  $\theta$  に上記の偏角  $\delta$  を加えて、電力変換器 238 が発生すべき交流電圧の位相  $\theta_{con v.}$  を決定する。

【0040】電力変換器 238 は、前記の通り直流電圧調整器 236 により調整された直流電圧の下で動作し、その発生位相が前記  $\theta_{con v.}$  になるように動作する。即ち、予定された、電圧指令ベクトル  $V_c$  に従った交流電圧を出力する。この交流電圧は、変圧器 239 を介して送電線路に印加される。

【0041】このようにして、可制御電圧印加手段 200 の機能が実現される。すなわち、前記図 1 の作用効果を実現するのに適している。以上、振幅変調式 (PAM 式) 電力変換器 239 により、そのスイッチング周波数が低くでき、その損失が軽減され、高効率な電力系統の補償制御装置が実現できる。

【0042】この実施の形態 1 によれば、スイッチドキャパシタ 100 を用いた電力系統の補償制御装置において、可制御電圧印加手段 200 を設け、スイッチドキャパシタ 100 との運動制御手段 300 を備えることにより、トータルインピーダンスの連続制御性を実現すると共に、連続制御に必要な部分の機器容量の低減ができる効果がある。

【0043】実施の形態 2。この発明の実施の形態 2 に係る電力系統の補償制御装置について図 4 を参照しながら

ら説明する。図 4 は、この発明の実施の形態 2 に係る電力系統の補償制御装置の可制御電圧印加手段の詳細な構成を示す図である。なお、他の構成は上記実施の形態 1 と同様である。

【0044】図 4 において、図 3 と同一符号は同一又は相当部分を示す。また、同図において、200A は可制御電圧印加手段、238A は多相の静止形電力変換器であるパルス幅変調 (PWM) 式電力変換器、241 は直流電圧検出手段、242 は直流電圧制御手段、243 はベクトル回転手段、244 は同期回転座標値から固定座標値へ変換する座標変換手段である。

【0045】次に、可制御電圧印加手段 200A の動作について説明する。直流電圧制御手段 242 は、直流電圧検出手段 241 によって検出された電力変換器 238A の直流電圧とその指令値  $V_{dcref}$  とを比較増幅して、発生すべき交流出力電圧の位相を微小調整する偏角  $\phi$  を指令する。ベクトル回転手段 243 は、前述の制御手段 220 の出力である電圧指令ベクトル  $V_c$  と、直流電圧制御手段 242 の出力  $\phi$  とを受けて、電圧指令ベクトル  $V_c$  を微小角  $\phi$  だけ回転させ、第 2 の電圧指令ベクトル  $V_{c2} = (V_{p2}, V_{q2})$  を出力する。

【0046】座標変換手段 244 は、位相信号  $\theta$  と上記第 2 の電圧指令ベクトル  $V_{c2}$  を受けて、三相交流出力電圧指令  $V_{a,b,c}$  を生成する。電力変換器 238A は、三相交流出力電圧指令  $V_{a,b,c}$  に基づき、これと比例した交流電圧を発生する。

【0047】上記電圧指令ベクトル  $V_c$  は電流ベクトル  $I$  に直交しているので、電力変換器 238A の有効電力は基本的にゼロである。しかし、直流電圧の維持に際して、僅かな電力の出入りの制御が必要である。この直流電圧の制御のために、僅かに電圧指令ベクトル  $V_c$  を前後に回転させた第 2 の電圧指令ベクトル  $V_{c2}$  を作り、電力変換器 238A の電力、ひいては直流電流平均値を変え、もって、直流電圧を所望値に制御する訳である。

【0048】このとき、ベクトル回転手段 243 を削除して、微小角  $\phi$  を検出位相  $\theta$  に加えた  $(\theta + \phi)$  を座標変換手段 244 に入力しても同じ制御作用効果が得られる。

【0049】さらに、直流電圧制御手段 242 の出力により q 軸電圧成分  $V_q$  のみ変化させてもよい。

【0050】以上により、前記図 1 における可制御電圧印加手段の機能が実現される。このとき、PWM 式電力変換器 238A を使用する事により、インピーダンス制御の応答速度が向上する。したがって、スイッチドキャパシタ 100 の ON、OFF の際に生じるリアクタンスの跳躍に対して、トータルキャパシティブリアクタンスを一層スムーズに制御できる効果がある。

【0051】実施の形態 3。この発明の実施の形態 3 に係る電力系統の補償制御装置について図 5 を参照しながら説明する。図 5 は、この発明の実施の形態 3 に係る電



力系統の補償制御装置の可制御電圧印加手段の詳細な構成を示す図である。なお、他の構成は上記実施の形態 1 と同様である。

【0052】図 5 において、図 3 と同一符号は同一又は相当部分を示す。また、同図において、200B は可制御電圧印加手段、250 は一次巻線 250a と二次巻線 250b とを備えた巻線形交流機（非同期機）、251 は回転角度  $\theta_r$  の検出手段（電気角換算出力とする）、252 は位相  $\theta$  と機械的回転角（電気角） $\theta_r$  の合成手段（和差演算手段）、253 は交流機 250 の二次電流  $I_2$  の検出手段、254 は二次巻線座標の値を同期回転座標の値に変換する座標変換手段である。

【0053】また、同図において、255 は交流機 250 の一次電流ベクトル  $I_1$  と、同一次電圧指令ベクトル  $V_1$  とから同二次電流指令ベクトル  $I_{2ref}$  を演算する演算手段、256 は同励磁電流ベクトル  $I_2$  の電流制御手段、257 は二次巻線 250b の励磁電源である。

【0054】さらに、同図において、211A は変圧器 239 の二次電流が変圧器 239 の一次電流  $I$  に比例し、かつ、巻線形交流機 250 の一次電流  $I_1$  に等しい \*20

$$\left[ \frac{I_{2ref}}{I_{2refq}} \right] = (1/\omega M) \left[ \frac{I_{1d}}{I_{1q}} \right] (L_1 + L_t/M)$$

【0057】式（1）において、 $I_{2refd}$  及び  $I_{2refq}$  は二次電流指令ベクトル  $I_{2ref}$  のコンポーネント、 $V_{1d}$  及び  $V_{1q}$  は所望の一次電圧ベクトル  $V_1$  のコンポーネント、 $I_{1d}$  及び  $I_{1q}$  は一次電流ベクトル  $I_1$  のコンポーネント、 $\omega$  は電力系統の電気角周波数、 $M$  は交流機 250 の一次二次間相互インダクタンス、 $L_1$  は交流機 250 の一次インダクタンス、 $L_t$  は変圧器 239 のリーケージインダクタンスである。

【0058】上記関係で二次電流を流すと、交流機 250 の特性として所望の一次電圧  $V_1$  が発生する。上記二次電流指令と二次電流  $I_2$  を電流制御手段 256 で比較増幅して、励磁電源 257 をフィードバック制御する。これらの結果、一次電圧  $V_1$  については変圧器一次巻線 250a からの印加電圧  $V_c$  が所望値に制御される。

【0059】さらには、可制御電圧印加手段 200B が送電線路に呈する等価インピーダンスが所望の  $X_c$  になる訳である。かくて、前記図 1 における可制御電圧印加手段の機能が実現される。

【0060】この実施の形態 3 においては、無効電力の他、回転慣性を利用して短時間の有効電力も発生吸収できる効果がある。また、可制御電圧印加手段 200B としての過電流耐量が静止型電力変換器を用いたものより大きくし易い効果がある。

【0061】実施の形態 4. この発明の実施の形態 4 に係る電力系統の補償制御装置について図 6 及び図 7 を参照しながら説明する。図 6 は、この発明の実施の形態 4 に係る電力系統の補償制御装置の構成を示す図である。また、図 7 は、この実施の形態 4 に係るキャパシティブ

\* ことを利用して、送電線路電流の検出と交流機 250 の一次巻線電流の検出とを兼ねた電流変成器である。なお、上記各実施の形態と同様に、点線で図示するように、送電線路電流を直接検出する電流変成器を別個に設けてもよい。また、220A は電流ベクトル  $I_1$  と線路電流ベクトル  $I$  の比例関係と、変圧器 239 の一次電圧ベクトル  $V_c$  と交流機 250 の一次電圧ベクトル  $V_1$  との比例関係を利用して、所望リアクタンス  $X_c$  及び一次電流ベクトル  $I_1$  から所望一次電圧ベクトル  $V_1$  を演算する制御手段である。

【0055】次に、可制御電圧印加手段 200B の動作について説明する。制御手段 220A は、変圧器 239 の変圧比を考慮した比例係数「 $a$ 」をかけて、電流ベクトル  $I_1$  に対する直交電圧ベクトル  $V_1$  を演算して決定する。演算手段 255 は、次の式（1）の演算により二次電流指令ベクトル  $I_{2ref}$  を出力する。なお、横の並びを行、縦の並びを列とすると、2 行 1 列の行列（列ベクトル）を  $[a_{11} / a_{21}]$  と表記し、2 行 2 列の正方行列を  $[a_{11}, a_{12} / a_{21}, a_{22}]$  と表記する。

【0056】

$$\begin{bmatrix} 0, 1 / -1, 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_{1d} / V_{1q} \end{bmatrix} + \dots \text{式 (1)}$$

リアクタンス  $X_{step}$  と所望トータルキャパシティブリアクタンス  $X_t$  との関係、可制御キャパシティブリアクタンス  $X_c$  とトータルキャパシティブリアクタンス  $X_t$  との関係を示す図である。

【0062】図 6 において、100 はスイッチドキャパシタ、200 は可制御電圧印加手段、300 は連動制御手段、400 はスイッチドリアクタである。

【0063】また、同図において、可制御電圧印加手段 200 は前記図 3、図 4、図 5 に示す前記各実施の形態の可制御電圧印加手段を用いる。これにより、トータルリアクタンスを連続制御可能にする点は同じである。この実施の形態 4 において、リアクトル 401 と、サイリスタスイッチ等の個体スイッチ手段 402 と、可飽和リアクトル等のアノードリアクトル 403 と、アレスタ 404 から成るスイッチドリアクタ 400 を単数又は複数個備える。さらに、スイッチドキャパシタ 100 も単数又は複数個備える。勿論、連動制御手段 300 も備える。

【0064】リアクトル 404 のリアクタンスの絶対値は、キャパシタ 101 のリアクタンスの絶対値とほぼ等しく選び、これを  $\Delta X$  とする。この実施の形態 4 では、スイッチドキャパシタ 100 とスイッチドリアクタ 400 とにより、リアクティブリアクタンスからキャパシティブリアクタンスまで両領域に渡ってリアクタンスを段階的に変えることができる。

【0065】このステップ変化させるリアクタンス  $X_{step}$  を図 7 (a) の実線に示すように、所望トータルリアクタンス  $X_t$  に対して変化させる。他方、可制御電



圧印加手段200により、所望トータルリアクタンス $X_t$ に対して鋸歯状に変化させる $X_c$ を生じさせる。この関係を図7(b)に示す。これらの結果、トータルリアクタンスが $(X_{step} + X_c)$ のときは $X_t$ に対して図7(a)の一点鎖線に示すように連続的に変化できる。

【0066】なお、アノードリアクトル403は、アレスタ404が通電中にサイリスタスイッチ402をターンオンさせる場合、アレスタ電流が急激にサイリスタ側へ転流してその電流変化率 $di/dt$ がサイリスタスイッチ402のターンオン $di/dt$ 限度を超えることを防止すると共に、素子破壊を防止するものである。

【0067】この実施の形態4では、リアクティブ領域もカバーできる。また、通常運用時にゼロインピーダンス近傍で働かせうる。例えば、既設電力系統へ過渡安定度向上を図る目的の場合、通常運用状態では従来通り本装置が無いのと同じ条件で運転させ、事故時の過渡安定化が必要な短時間だけ本装置でインピーダンス制御して、電力系統の安定化能力を発揮させることができる。このほか、可変範囲が広いので幅広く使用できる効果がある。

#### 【0068】

【発明の効果】この発明に係る電力系統の補償制御装置は、以上説明したとおり、送電線路に直列に挿入されたスイッチドキャパシタと、前記送電線路に直列に挿入された可制御電圧印加手段と、前記スイッチドキャパシタをON、OFF制御するとともに、前記ON、OFF制御に連動して前記可制御電圧印加手段の発生電圧を鋸歯状に制御することにより、前記スイッチドキャパシタの階段状電圧と前記可制御電圧印加手段の鋸歯状電圧との和電圧が線形になるように制御する連動制御手段とを備えたので、トータルインピーダンスの連続制御性を実現することができると共に、連続制御に必要な部分の機器容量を低減することができるという効果を奏する。

【0069】また、この発明に係る電力系統の補償制御装置は、以上説明したとおり、前記スイッチドキャパシタが、前記送電線路に直列に挿入されたキャパシタと、前記キャパシタに並列接続され、前記連動制御手段によってON、OFF制御されるサイリスタスイッチと、前記キャパシタの短絡電流を制限するリアクトルと、前記キャパシタに並列接続されたアレスタとを有するので、トータルインピーダンスの連続制御性を実現することができると共に、連続制御に必要な部分の機器容量を低減することができるという効果を奏する。

【0070】また、この発明に係る電力系統の補償制御装置は、以上説明したとおり、前記可制御電圧印加手段が、前記送電線路の電流ベクトルを検出する検出手段と、所望リアクタンスに基づいて前記電流ベクトルに直交する電圧指令を発生する制御手段と、前記電圧指令に比例した電圧を従属して発生する可制御電源とを有する

ので、トータルインピーダンスの連続制御性を実現することができると共に、連続制御に必要な部分の機器容量を低減することができるという効果を奏する。

【0071】また、この発明に係る電力系統の補償制御装置は、以上説明したとおり、前記可制御電源が、前記送電線路の電圧を検出する電圧変成器と、前記検出電圧の位相を検出する位相検出器とを持ち、前記検出手段が、前記送電線路の電流を検出する電流変成器と、前記位相検出器の検出位相及び固定座標値である前記電流変成器の検出電流から同期回転座標値である電流ベクトルへ変換する座標変換器とを持つので、トータルインピーダンスの連続制御性を実現することができると共に、連続制御に必要な部分の機器容量を低減することができるという効果を奏する。

【0072】また、この発明に係る電力系統の補償制御装置は、以上説明したとおり、前記可制御電源が、さらに、前記電圧指令の偏角を演算して出力する位相指令手段と、前記偏角及び前記位相検出器の検出位相を加算して交流電圧の発生位相を出力する加算器と、前記電圧指令の絶対値を演算して出力する直流電圧指令手段と、前記電圧指令の絶対値に基づいて直流電圧の振幅を調整する直流電圧調整器と、前記加算器の出力及び前記直流電圧調整器の出力に基づいて発生する交流電圧を変圧器を介して前記送電線路に印加する振幅変調式電力変換器とを含むので、トータルインピーダンスの連続制御性を実現することができると共に、連続制御に必要な部分の機器容量を低減することができるという効果を奏する。

【0073】また、この発明に係る電力系統の補償制御装置は、以上説明したとおり、前記可制御電源が、さらに、電力変換器の直流電圧とその指令値との比較に基づいて、発生すべき交流電圧の位相を微少調整する偏角を出力する直流電圧制御手段と、前記制御手段の電圧指令及び前記直流電圧制御手段が出力する偏角に基づいて第2の電圧指令を出力するベクトル回転手段と、前記位相検出器の検出位相及び前記ベクトル回転手段の第2の電圧指令に基づいて三相交流電圧指令を出力する座標変換手段と、前記座標変換手段の三相交流電圧指令に基づいて発生する交流電圧を変圧器を介して前記送電線路に印加するパルス幅変調式電力変換器とを含むので、トータルインピーダンスの連続制御性を実現することができると共に、連続制御に必要な部分の機器容量を低減することができるという効果を奏する。

【0074】さらに、この発明に係る電力系統の補償制御装置は、以上説明したとおり、前記可制御電源が、前記送電線路の電圧を検出する電圧変成器と、前記検出電圧の位相を検出する位相検出器と、前記位相検出器の検出位相と巻線形交流機の機械的回転角の合成手段と、前記交流機の二次電流を検出する検出手段と、前記検出手段の二次電流を同期回転座標の二次電流に変換する座標変換手段と、前記送電線路電流及び前記交流機の一次電

流を検出する単数又は複数の電流変成器と、前記位相検出器の検出位相及び固定座標値である前記電流変成器の検出電流から同期回転座標値である一次電流ベクトルへ変換する座標変換器と、所望リアクタンスに基づいて前記一次電流ベクトルに直交する一次電圧指令を演算する制御手段と、前記一次電流ベクトル及び一次電圧指令から二次電流指令を演算する演算手段と、前記座標変換手段の二次電流及び前記演算手段の二次電流指令の比較に基づいて前記交流機の二次巻線の励磁電源をフィードバック制御する電流制御手段とを有し、前記巻線形交流機が、前記励磁電源に基づいて制御されて発生する交流電圧を変圧器を介して前記送電線路に印加するので、トータルインピーダンスの連続制御性を実現することができると共に、連続制御に必要な部分の機器容量を低減することができるという効果を奏する。

【0075】この発明に係る電力系統の補償制御装置は、以上説明したとおり、送電線路に直列に挿入されたスイッチドキャパシタと、前記送電線路に直列に挿入されたスイッチドリアクタと、前記送電線路に直列に挿入された可制御電圧印加手段と、前記スイッチドキャパシタ及び前記スイッチドリアクタをON、OFF制御するとともに、前記ON、OFF制御に連動して前記可制御電圧印加手段の発生電圧を鋸歯状に制御することにより、前記スイッチドキャパシタ及び前記スイッチドリアクタの階段状電圧と前記可制御電圧印加手段の鋸歯状電圧との和電圧が線形になるように制御する連動制御手段とを備えたので、リアクティブ領域もカバーでき、幅広く使用することができるという効果を奏する。

【0076】また、この発明に係る電力系統の補償制御装置は、以上説明したとおり、前記スイッチドリアクタを備えた電力系統の補償制御装置において、前記スイッチドキャパシタが、前記送電線路に直列に挿入されたキャパシタと、前記キャパシタに並列接続され、前記連動制御手段によってON、OFF制御されるサイリスタスイッチと、前記キャパシタの短絡電流を制限するリアクトルと、前記キャパシタに並列接続されたアレスタとを有するので、リアクティブ領域もカバーでき、幅広く使用することができるという効果を奏する。

【0077】さらに、この発明に係る電力系統の補償制御装置は、以上説明したとおり、前記スイッチドリアクタが、前記送電線路に直列に挿入されたリアクトルと、前記リアクトルに並列接続され、前記連動制御手段によってON、OFF制御されるサイリスタスイッチと、前記リアクトルに並列接続されたアレスタと、前記サイリスタスイッチへのアレスタ電流の転流速度を抑制するアノードリアクトルとを有するので、リアクティブ領域もカバーでき、幅広く使用することができるという効果を奏する。

【図面の簡単な説明】

【図1】 この発明の実施の形態1に係る電力系統の補償制御装置の構成を示す図である。

【図2】 この発明の実施の形態1に係る電力系統の補償制御装置のキャパシティブリアクタンス $X_{step}$ と所望トータルキャパシティブリアクタンス $X_t$ との関係、可制御キャパシティブリアクタンス $X_c$ とトータルキャパシティブリアクタンス $X_t$ との関係を示す図である。

【図3】 この発明の実施の形態1に係る電力系統の補償制御装置の可制御電圧印加手段の構成を示す図である。

【図4】 この発明の実施の形態2に係る電力系統の補償制御装置の可制御電圧印加手段の構成を示す図である。

【図5】 この発明の実施の形態3に係る電力系統の補償制御装置の可制御電圧印加手段の構成を示す図である。

【図6】 この発明の実施の形態4に係る電力系統の補償制御装置の構成を示す図である。

【図7】 この発明の実施の形態4に係る電力系統の補償制御装置のキャパシティブ、リアクティブリアクタンス $X_{step}$ と所望トータルリアクタンス $X_t$ との関係、可制御リアクタンス $X_c$ とトータルリアクタンス $X_t$ との関係を示す図である。

【図8】 従来の電力系統の補償制御装置の構成を示す図である。

【図9】 従来の電力系統の補償制御装置のCSCの等価回路を示す図である。

【符号の説明】

100 スwitchドキャパシタ、101 キャパシタ、102 サイリスタスイッチ、103 キャパシタ短絡電流制限リアクトル、104 アレスタ、200、200A、200B 可制御電圧印加手段、210 検出手段、211 電流変成器、212 座標変換器、220、220A 制御手段、230 可制御電源、231 電圧変成器、232 位相検出器(PLL)、233 位相指令手段、234 加算器、235 直流電圧指令手段、236 直流電圧調整器、237 直流キャパシタ、238 振幅変調(PAM)式電力変換器、238Aパルス幅変調(PWM)式電力変換器、239 変圧器、240 サイリスタスイッチ、241 直流電圧検出手段、242 直流電圧制御手段、243 ベクトル回転手段、244 座標変換手段、250 巻線形交流機(非同期機)、251 検出手段、252 合成手段(和差演算手段)、253 検出手段、254 座標変換手段、300 連動制御手段、400 スwitchドリアクタ、401 リアクトル、402 個体スイッチ手段、403 アノードリアクトル、404 アレスタ。

Figure 1 is a block diagram of a power supply system. The system consists of three main functional blocks: two switched capacitor units (100) and one controllable voltage application unit (200), all controlled by an interlocking control unit (300).

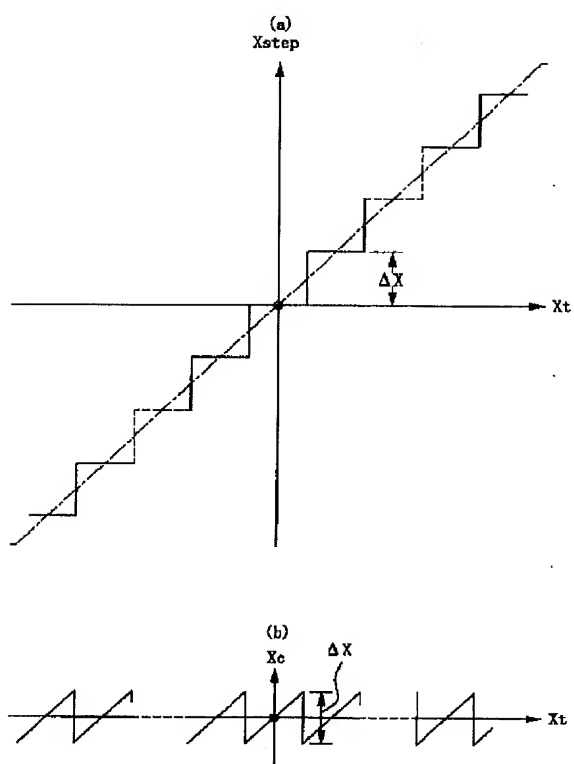
The interlocking control unit (300) receives an input  $X_t$  and outputs control signals to the three units. The first two units (100) are labeled "スイッチドキャパシタ" (Switched capacitor). Each unit contains an inductor (103), a switch (101), a capacitor (104), and a diode bridge (102). The third unit (200) is labeled "可制御電圧印加手段" (Controllable voltage application means). It contains a transformer (210), a variable voltage source (230), and a load (220). The load (220) is represented by a block with parameters  $jX_c$  and  $i$ , and output voltage  $V_c$ . The current  $i$  flows through the load. The output of unit 200 is  $X_c$ , which is fed back to the control unit 300.

The input  $X_t$  is defined as  $X_t = |\dot{V}_t| / I$ , and the output  $X_c$  is defined as  $X_c = |\dot{V}_c| / I$ .

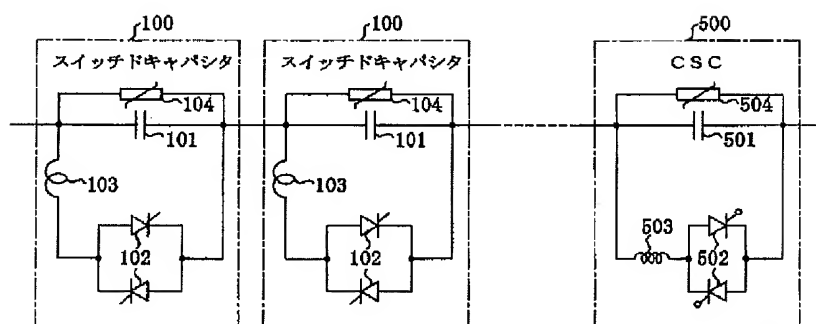
[illegible]



【図 7】



【図 8】



【図 9】

